

Е.А. БОРИСЕНКО, аспирант каф ИИТС НТУ „ХПИ”

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕСТОВЫХ МЕТОДОВ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ УРОВНЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ

У статті розглянуті методи підвищення точності ультразвукових вимірювачів рівня. Проаналізовані основні джерела похибок. Вивчено можливість використання тестових методів для зменшення результуючої похибки.

Methods of ultrasonic level meters accuracy increment are presented. Error causes are analyzed. Ability of test method for the resulting error reduction is learned.

Постановка проблемы. При измерении уровня жидких и сыпучих сред ультразвуковыми методами наибольший вклад в результирующую погрешность вносит изменение скорости ультразвука при воздействии различных факторов. Другие погрешности имеют значения, на порядок меньше. Поэтому возникает необходимость в периодической корректировке значения скорости звука в процессе выполнения измерений. В данной статье рассмотрен тестовый метод Δ , позволяющий значительно повысить точность измерений.

Анализ литературы. В [1] выполнен анализ влияющих на точность ультразвукового измерения уровня факторов окружающей среды, из которого следует, что наибольшее влияние оказывает погрешность, вызванная изменением температуры. В [2] приведены соотношения для расчета теоретической зависимости скорости звука от температуры: при изменении температуры в пределах $-35..50$ $^{\circ}\text{C}$ скорость звука меняется на 16%. В [3] и [4] использованы более точные методика расчета, однако они дают прирост точности не более 1%. В [5] показано, что применение тестовых методов в информационно-измерительных системах позволяет значительно повысить точность результата. Однако вопрос их применения в ультразвуковых уровнемерах в настоящее время подробно не рассмотрен.

Цель статьи: определить возможность применения тестовых методов в ультразвуковых уровнемерах.

Принцип работы ультразвуковых измерителей уровня состоит в том, что с помощью высокоточного таймера засекается время, которое требуется ультразвуковому лучу для прохождения расстояния от излучателя для приемника. При этом излучатель T и приемник $R1$ располагаются не в зоне прямой видимости, а таким образом, что звук по пути следования должен отразиться от поверхности среды, расстояние до которой и необходимо определить. Звук проходит удвоенное расстояние S_1 (рис. 1), т. е. расстояние до поверхности среды, уровень которой измеряется равен $l = S_1 / 2$, при этом линия, на которой находятся излучатель и приемник должна быть параллельна

поверхности. S_2 – расстояние, которое проходит ультразвук от излучателя T до реперного приемника R_2 отражаясь от поверхности среды.

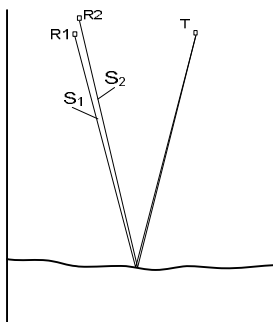


Рис. 1. Расположение приемников и излучателя

На рис. 2 показаны временные диаграммы работы уровнемера. На диаграмме 2, а показана «пачка» импульсов, подаваемая на излучатель. Предположим, что подача сигнала на излучатель началась в момент времени t_a , тогда в некоторый момент времени t_b (рис. 2, б) на приемник поступит эхосигнал. Промежуток времени t_{ab} заполняется импульсами стабильной, заранее известной высокой частоты f_0 (рис. 2, в). Если эти импульсы подать на вход счетчика, то можно определить величину временного интервала:

$$t_{ab} = N_{x1} / f_0$$

Расстояние можно определить из формулы

$$S_1 = c \cdot t_{ab},$$

где c – скорость распространения звука; чаще всего сталкиваются с распространением звука в воздухе, при 0°C 331,3 м/с

В реальных условиях скорость звука зависит от многих факторов, таких как температура, влажность, состав воздуха и т. п. поэтому необходимо вводить коррективы при изменении условий измерений.

Одним из возможных вариантов решения данной проблемы является применение Δ -теста. Он заключается в следующем.

В систему включается дополнительный датчик. Рассмотрим случай, когда в уровнемер вводят дополнительный приемник R_2 . При этом расстояние ΔS , которое ультразвук проходит от приемника R_1 до приемника R_2 фиксировано и заранее известно. Ультразвуковому сигналу для преодоления расстояния S_2 требуется время $t_{ac} = N_{x2} / f_0$ (диаграмма 2, д), тогда $S_2 = c \cdot t_{ac}$

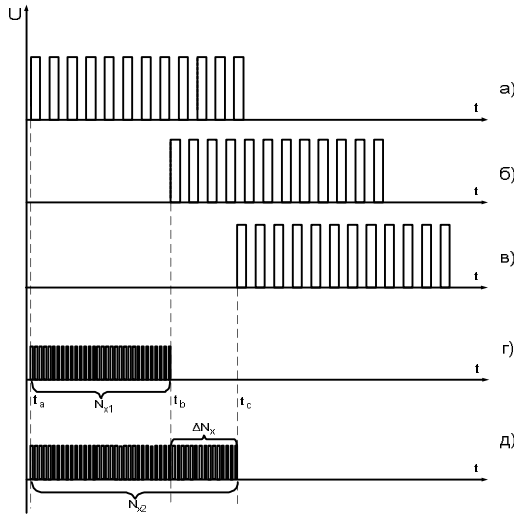


Рис. 2 Временные диаграммы работы уровнемера

Введем понятие ошибки скорости и обозначим его как Δc : $\Delta c = c_0 - c_p$, где c_0 – значение скорости звука при нормальных условиях окружающей среды (20°C , $p = 760$ мм. рт. ст., нормальный состав воздуха), а c_p – реальная скорость звука, имеющая место в процессе выполнения измерений. С учетом этого выражения расстояния можно определить по формулам:

$$S_1 = (c_0 + \Delta c)t_{ab} \quad (1)$$

$$S_2 = (c_0 + \Delta c)t_{ac} \quad (2)$$

При этом разность значений

$$\Delta S = S_2 - S_1 \quad (3)$$

заранее известна. Из диаграммы рис. 2д видно, что ей соответствует участок ΔN_x : $\Delta S = \Delta N_x / f_0$. Подставив в (3) уравнения (1) и (2) получим значение ошибки скорости:

$$\Delta c = \frac{\Delta S}{t_{ac} - t_{ab}} - c_0$$

Величина Δc – абсолютная погрешность скорости.

Следует учитывать то, что разность моментов времени, в которые ультразвуковая волна достигнет основного R_1 и Δ -приемника R_2 может варьироваться в зависимости от того, какой уровень измеряется.

На рис. 3 показаны возможные варианты расположения основного приемника (на рис. обозначены буквами А и Б) и реперного приемника для фор-

мирования тестового воздействия (на рис. обозначен Δ). Из рисунка видно, что наименьшее изменение этой разности будет при монтаже по способу А, однако при этом основной приемник будет «затенять» реперный. Поэтому оптимальным будет вариант Б, при котором основной приемник будет смещен в сторону, противоположную излучателю так, чтобы ультразвук с наименьшими потерями попадал на реперный приемник.

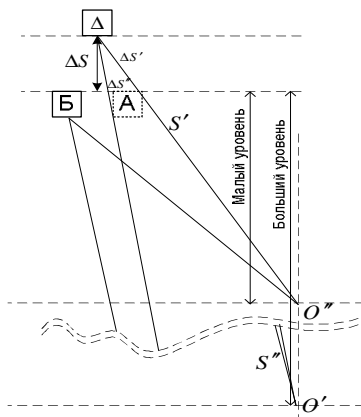


Рис. 3. Расположение приемников.

Рассмотрим, практическое значение такого теста на практике. Пусть измеряется некоторый уровень l_x . Допустим, что временной интервал между излученной и принятой пачками импульсов составляет $t = 7$ мс. Предположим, что измерения проводились при температуре 30°C . При этом известно, что тестовое расстояние $\Delta S = 0,2$ м. и расчетное значение скорости звука будет равным:

$$c = \sqrt{\frac{\lambda RT}{\mu}} = 348,89 \text{ м/с},$$

где μ – молярная масса газа, наиболее вероятной молярной массой воздуха согласно [1] является $\mu = 29$ г/моль; T – температура $^\circ\text{K}$; $R = 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{K}}$ – универсальная газовая постоянная; γ – отношение теплоемкости газа при постоянном давлении к теплоемкости газа при неизменном объеме, для нормального состава воздуха $\gamma = 1,402$.

При этом измеренное расстояние составит $S = 7 \cdot 10^{-3} \cdot 331,3 = 2,319$, а действительное расстояние $S_0 = 7 \cdot 10^{-3} \cdot 348,9 = 2,442$. Абсолютная погреш-

ность измерения составит 0,124 м, а относительная 5,3%. Время, которое требуется, чтобы ультразвуковая волна прошла расстояние от основного приемника до реперного $t = 5,73 \cdot 10^{-4}$ с. Ошибка скорости будет равна $\Delta c = 17,74$ м/с. Отсюда измеряемый уровень будет равен:

$$l = \frac{(c_0 + \Delta c)t_{ab}}{2} = \frac{(331,3 + 17,74)7 \cdot 10^{-3}}{2} = 1,221 \text{ м.}$$

Без применения тестового метода, измеренный уровень равен 1,16 м, т.е. погрешность измерения уровня была бы равна 61 мм в абсолютных величинах или 5%.

Возможен также вариант применения двух излучателей и одного приемника (при этом расстояние между излучателями известно и равно ΔS), однако он представляется более сложным, поскольку необходимо предусмотреть временное разделение работы излучателей.

Вывод. Полученные теоретические и практические результаты показывают, что применение тестового метода Δ позволяет существенно снизить погрешность, вносимую непостоянством скорости звука при изменении условий окружающей среды. В дальнейшем планируется проведение экспериментов, с целью выявления эффективности данного метода на практике.

Список литературы: 1. *Борисенко Е.А.* Выбор оптимального по точности подхода к измерению уровня ультразвуковым методом. / Гусельников В. К., Борисенко Е. А. Вестник Национального технического университета «ХПИ» Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Автоматика и приборостроение» – 2008. – вып. 56, с. 61. 2. *Сапожков М.А.* Электроакустика / Сапожков М. А. М.: Связь, 1978. – 272 с. 3. *Dennis A. Bohn* Environmental Effects on the Speed of Sound / Dennis A. Bohn J. Audio Eng. Soc., vol. 36. No. 4, April 1988. – 9 с. 4. *Dean E.A.* Atmospheric effects on the speed of sound / Physics department, University of Texas at El Paso: 1979. – 60 с. 5. *Кондрашов С.И.* Методи підвищення точності систем тестових випробувань електричних вимірювальних перетворювачів / монографія – Харків: НТУ «ХПИ», 2004. – 224 с.

Статья представлена д.т.н. проф. Кондрашовым С.И.

Поступила в редакцию 30.01.2010